

Андрій СОКОЛЬЦОВ, аспірант,

Олег АВРУНІН, д-р техн. наук, проф.

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, e-mail: andrii.sokoltsov@nure.ua

## АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ХІРУРГІЧНИХ ВТРУЧАНЬ НА ПРИДАТКОВИХ ПАЗУХАХ НОСА

**Анотація.** У сучасній медичній практиці спостерігається зростаючий інтерес до використання віртуальних моделей для навчання хірургічних навичок, особливо у ринології. Це обумовлено економічними, юридичними та етичними аспектами. У порівнянні з традиційним використанням трупних зразків, віртуальні моделі, зокрема 3D-моделювання, мають більші переваги, такі як більша доступність, здатність наближення до реальних тканин та зниження витрат. Такі моделі дозволяють стажерам отримувати практичний досвід без ризику для пацієнтів та забезпечують можливість індивідуалізованого та структурованого навчання.

**Ключові слова:** функціональна ендоскопічна хірургія пазух (FESS), 3D-моделювання, хірургічна підготовка, ринологія.

Функціональна ендоскопічна хірургія пазух (FESS) – одна з операцій, що найчастіше виконуються в ринології [1, 2]. Ендоскопічні операції на пазухах і основі черепа включають області складної анатомії і вимагають від хірурга здатності маневрувати у вузькому операційному полі. Досвід цієї мінімально інвазивної хірургії потребує бімануальної вправності у невеликому тривимірному просторі, уникнення ключових життєвоважливих структур (орбіта, головний мозок та гілки сонної артерії) [3, 4]. Крім чіткого розуміння анатомії, необхідно навчати, практикувати та освоювати хірургічну техніку для досягнення стабільних та безпечних результатів [5, 6]. Хірургічна підготовка необхідна для того, щоб хірург набув відповідних навичок, що дозволяють безпечно видаляти перешкоджаючі клітини та пухлини і при цьому досягати найкращого результату для пацієнта. Поряд з літературою, підручниками та спостереженнями в операційній курси хірургічної підготовки є основою викладання хірургії. Раніше ці навички набувалися ординаторами, які спочатку спостерігали за операцією, а потім виконували процедури на пацієнтах під наглядом. Цей принцип, запропонований Вільямом Холстедом наприкінці XIX сторіччя («подивись раз, зроби раз, навчи раз»), був тривалий час «золотим стандартом» у навчанні лікарів хірургічного профілю. Це так зване «навчання на робочому місці» наражає пацієнтів на додатковий ризик та зростання ятрогенії. Традиційно курси та семінари проводяться з використанням трупних зразків. Штамбергер запропонував, щоб хірурги FESS препарували як мінімум 10 трупних людських голів, перш ніж приступати до операції на пацієнтах. Препарування людських трупів і моделей тварин певною мірою, хоч і ідеально підходить для навчальних цілей, стає дорожчим і суворо регулюється через етичні та юридичні норми в багатьох регіонах. Трупні зразки також несуть ризик зараження і мають анатомічну мінливість та варіабельність обумовлені перенесеними раніше хірургічними операціями на придаткових пазухах, мати непередбачувану анатомію, що може вплинути на досвід тренувань та валідацію результатів. Враховуючи труднощі отримання трупних зразків та обмеженість моделей та тренажерів, став необхідним пошук інших недорогих моделей, придатних для навчання [7, 8].

Моделювання – область сучасної післядипломної освіти, що швидко розвивається [9]. Підвищена увага до безпеки пацієнтів привела до дефіциту навчання порівняно з усталеними принципами хірургічного навчання. Останні передові методи 3D-друку дозволяють створювати 3D-моделі пазух носа на основі комп'ютерної томографії [10]. Оскільки якість друківаних матеріалів продовжує покращуватися, тактильне, «реальне» відчуття тканин робить такі моделі привабливою альтернативою трупним зразкам. Крім того, їх перевагою є передбачувана анатомія, а відсутність людських тканин означає, що ці курси можуть проводитись поза лабораторних установ. В літературі досліджується ряд варіантів створення моделей для навчання основним навичкам ендоскопічної хірургії [11]. Ці варіанти включають моделювання умов операції на перці та томатах, використання тканин тварин (зокрема, голови ягнят) як заміну трупним зразкам, а також різноманітні 3D-моделі та доповнену реальність. Кожна з цих моделей має свої переваги та недоліки, що ускладнює їхнє використання як повноцінної альтернативи трупному матеріалу. Використання абстрагованих моделей з використанням овочів сприяло поліпшенню базових хірургічних навичок, зокрема зорово-моторної координації, точності та маневреності ендоскопічних інструментів. 90% учасників погодилися, що участь у подібних тренуваннях підвищила їхню впевненість та підготувала до подальших етапів диссекцій на трупних зразках та, в подальшому, у живій хірургії [1]. Тканини тварин також можуть не повністю відобразити анатомію людського організму та реакції тканин на

хірургічні втручання. Використання голови ягняти широко застосовується в ендоскопічній хірургії носових пазух, оскільки її анатомічна схожість з анатомією людини добре документована. Відпрацювавши хірургічні навички на голові ягняти, студенти зможуть краще розпочати практичну підготовку під керівництвом експерта. До недоліків такої моделі відносяться необхідність зберігання, період підготовки перед використанням та обмежений час корисного використання моделі, який не перевищує 4 годин для уникнення розкладання зразка з подальшою втратою якості. Також важливо враховувати відмінності в анатомії більш складних структур, таких як задні гратчасті клітини, клиноподібний синус, лобовий синус і їхніх взаємозв'язків з сусідніми анатомічними орієнтирами. Схожість «овочевої» та «тваринної» моделей полягає у їхньому застосуванні як допоміжних засобів для вивчення базових навичок роботи з інструментами та відеоендоскопічним обладнанням, але вони не можуть використовуватися самостійно. Висока оцінка використання цих моделей підтверджується твердженнями учасників, що вони порекомендують таку методику навчання майбутнім ординаторам [2]. Щодо 3D моделей, більшість наукових досліджень на сьогоднішній день зосереджена на розробці та валідації 3D-моделей, приділяючи менше уваги оцінці їхньої освітньої ефективності [11, 12]. Використання друкованих моделей дозволяє провести оцінку технічних навичок шляхом об'єктивної структурованої оцінки (OSATS), а також аналізувати результати післядисекційного обстеження за допомогою КТ, щоб оцінити повноту обсягу виконаної дисекції. Перевагою 3D-моделей є можливість повторення операційних вправ, що дозволяє швидше засвоювати необхідні навички. Крім того, наявність дев'яти різних моделей різної складності і анатомічних особливостей дає можливість вибирати відповідно до рівня досвіду хірурга. Можливість використання стандартизованого друкованого матеріалу дозволяє систематизувати процес навчання та поетапно засвоювати навички, починаючи з простих моделей і переходячи до складніших [3]. Додатково студенти можуть вчитися, спостерігаючи за експертами, що виконують операції на аналогічних моделях. Ці методи навчання можуть здійснюватися як у прямому контакті з експертами, так і дистанційно через онлайн-платформи, де експерти можуть спостерігати за декількома студентами одночасно, що забезпечує можливість спостереження за кожним із них [13, 14]. Однак основною проблемою залишається відтворення реалістичних умов операції, таких як слизова оболонка, кровотеча та забруднення лінзи ендоскопа, що ускладнює процес навчання. Також використання друкованих моделей обмежується технічними та фінансовими причинами, де вартість моделі прямопропорційна її якості наближення до реальної (мукоперихондріальний лоскут та щільність кісткових структур, судинних оболонок і м'якотканинних утворень). Доповнена реальність є перспективною альтернативою, однак існують виклики пов'язані з розробкою відповідного обладнання та програмного забезпечення, а також забезпеченням реалістичності та точності симуляції [8, 15]. Розроблений симулятор доповненої реальності призначений для покращення навичок користувачів у виконанні складних технічних операцій, зокрема дворучної майстерності та моторної координації, що є важливими для FESS. Спостереження за зменшенням коливань у відстані між кінчиками інструментів зі зростанням досвіду свідчить про наявність помітної кривої навчання бімануальної майстерності, що варіюється в залежності від рівня кваліфікації. У відміну від фізичних моделей для тренувань, симулятор доповненої реальності забезпечує тактильний зворотний зв'язок від інструментів, такий як опір при контакті з носовими тканинами та вібрація від активації мікродабридера. Це дозволяє оцінити допустимий рівень застосування сили для уникнення пошкодження критичних структур. Важливість вимірювання сили також підкреслюється, оскільки тренування на трупних тканинах не дає можливості адекватно оцінити необхідну силу для виконання ендоскопічних процедур на приносних пазухах, тим самим не враховуючи допустимий рівень сили, необхідний під час FESS [13].

Хоча в нинішніх гайдлайнах з навчання хірургів використання трупного матеріалу є золотим стандартом, все більша увага приділяється моделям, що відтворюються. Ця тенденція обумовлена економічними, юридичними та етичними чинниками. Кожен тип моделі має свої переваги та обмеження, але найбільшу перспективу для застосування в освітніх цілях та плануванні має 3D моделювання. Основним завданням цього методу є максимальне наближення моделі до реальних тканин за тактильними характеристиками та можливістю їх диференціації, одночасно знижуючи витрати на відтворення і забезпечуючи більшу доступність для рутинного використання.

## Література

1. Tikka S, Chaithra BG, Sharma SB, Janakiram TN. A Feasible, Low-Cost, Capsicum and Tomato Model for Endoscopic Sinus and Skull Base Surgery Training. *Indian J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2022 Dec;74(Suppl 3):4565-4570. doi: 10.1007/s12070-021-02583-z. Epub 2021 Jul 5. PMID: 36742779; PMCID: PMC9895242.
2. De Oliveira HF, Bollela VR, Anselmo-Lima WT, Costa CAPO, Nakanishi M. A feasible, low-cost, reproducible lamb's head model for endoscopic sinus surgery training. *PLoS One.* 2017 Jun 29;12(6):e0180273. doi: 10.1371/journal.pone.0180273. PMID: 28662196; PMCID: PMC5491169.

3. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Pavlov, S.V.; and etc. Possibilities of Automated Diagnostics of Odontogenic Sinusitis According to the Computer Tomography Data. *Sensors* 2021, 21, 1198. <https://doi.org/10.3390/s21041198>.
4. Avrunin, O.G.; Nosova, Y.V.; Pavlov, S.V.; Shushliapina, N.O.; and etc. Research Active 11. Posterior Rhinomanometry Tomography Method for Nasal Breathing Determining Violations. *Sensors* 2021, 21, 8508. doi: 10.3390/s21248508.
5. Suzuki M, Miyaji K, Watanabe R, Suzuki T, Matoba K, Nakazono A, Nakamaru Y, Konno A, Psaltis AJ, Abe T, Homma A, Wormald PJ. Repetitive simulation training with novel 3D-printed sinus models for functional endoscopic sinus surgeries. *Laryngoscope Investig Otolaryngol.* 2022 Jul 21;7(4):943-954. doi: 10.1002/liv.2.873. PMID: 36000044; PMCID: PMC9392405.
6. Suzuki M, Vyskocil E, Ogi K, Matoba K, Nakamaru Y, Homma A, Wormald PJ, Psaltis AJ. Remote Training of Functional Endoscopic Sinus Surgery With Advanced Manufactured 3D Sinus Models and a Telemedicine System. *Front Surg.* 2021 Oct 1;8:746837. doi: 10.3389/fsurg.2021.746837. PMID: 34660685; PMCID: PMC8517106.
7. Avrunin, O. G., Tymkovych, M. Y., Saed, H. F. I., Loburets, A. V., Krivoruchko, I. A., Smolarz, A., & Kalimoldayeva, S. (2019). Application of 3D printing technologies in building patient-specific training systems for computing planning in rhinology. Paper presented at the Information Technology in Medical Diagnostics II – Proceedings of the International Scientific Internet Conference on Computer Graphics and Image Processing and 48th International Scientific and Practical Conference on Application of Lasers in Medicine and Biology, 2018, 1–8. doi:10.1201/9780429057618-1.
8. Бажан О. В., Аврунін О. Г., Тимкович М. Ю. Використання технологій віртуальної реальності в пластичній хірургії. *Авіація, промисловість, суспільство : матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів, Кременчук. 2018. С. 184.*
9. V. Semenets, V. Kauk, O. Avrunin. “The advanced technology of remote training at the initial process” [“Vprovadjennya tehnologiy dystantsiynogo navchannya u navchalnii protses”], *High School*, 2009. – No. 5. – P. 40–45.
10. Тимкович М. Ю. Использование DICOM изображений в медицинских системах / М. Ю. Тимкович, О. Г. Аврунин, В.В. Семенец // НТУУ «КПІ» Техн. електродинаміка : Темат. вип. : Силова електроніка та енергоефективність, (СЕЕ’2012)». – Київ : НТУ «ХПИ». – 2012. – С. 178-183. ISSN 1607-7970.
11. Я. В. Носова, О. Г. Аврунін, Н. О. Шушляпина, І. Ю. Абделхамід, і А. Б. Алі Саед, «Порівняльний аналіз математичних та натурних моделей при визначенні коефіцієнту аеродинамічного носового опору», *Опт-ел. інфенерг. техн.*, вип. 42, вип. 2, с. 33-43, Жов 2022.
12. Аврунин О. Г. Особенности исследования носового дыхания при физических нагрузках / О. Г. Аврунин, Я. В. Носова, С. А. Худаева. // Тези доповіді 5-й всеукраїнської науково-практичної конференції «Здоров’я нації та вдосконалення фізкультурно-спортивної освіти в Україні». – 2018. – С. 117–119.
13. Varshney R, Frenkiel S, Nguyen LH, Young M, Del Maestro R, Zeitouni A, Saad E, Funnell WR; National Research Council Canada; Tewfik MA. The McGill simulator for endoscopic sinus surgery (MSESS): a validation study. *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2014 Oct 24;43(1):40. doi: 10.1186/s40463-014-0040-8. PMID: 25927463; PMCID: PMC4210497.
14. Павлов С. В., Аврунін О. Г., Злепко С. М., Бодяньський Є. В., Колісник П. Ф., Лисенко О. М., Чайковський І. А., Філатов В. О. (2019). Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації: монографія. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К». – 2019. – 260 с.
15. Avrunin O. “The experience software-based design of virtual medical in trascopy systems for simulation study *International Journal*”, *Information Technologies and Knowledge*, 2018, Vol. 2, P. 470–474.